

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-047045

(43)Date of publication of application : 18.02.2000

(51)Int.Cl.

G02B 6/13  
G02B 6/122

(21)Application number : 10-215155

(71)Applicant : KYOCERA CORP

(22)Date of filing : 30.07.1998

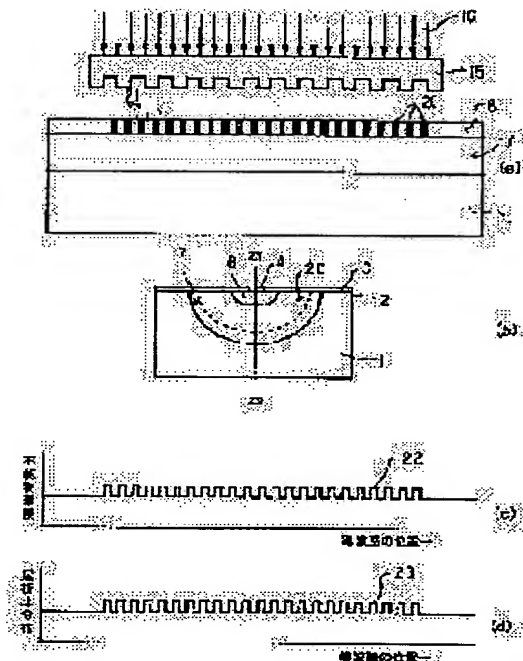
(72)Inventor : NAGATA SEIICHI

## (54) OPTICAL WAVEGUIDE AND ITS PRODUCTION

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a waveguide grating constitution based on a novel principle and a process for producing it.

**SOLUTION:** The optical waveguide having first dielectric substance regions 10 formed on one main surface side of a crystalline silicon substrate 1 and second dielectric substance regions 11 formed on the outer side of the first dielectric substance regions is provided with regions which contain regions contg., the concn. of an impurity element to increase and/or decrease the refractive index or the impurity element by changing the concn. thereof or the regions contg. this impurity element periodically in a propagation direction of light in the first dielectric substance regions 10.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

15.04.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3488830

[Date of registration]

31.10.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 結晶質シリコン基板内の一主面側に形成された第一の誘電体領域と、この第一の誘電体領域の外側に形成された第二の誘電体領域を有する光導波路において、前記第一の誘電体領域に、屈折率を増加および／または減少させる不純物元素を光の伝搬方向において周期的に増減して含有する領域を設けたことを特徴とする光導波路。

【請求項2】 結晶質シリコン基板内の一主面側に形成された第一の誘電体領域と、この第一の誘電体領域の外側に形成された第二の誘電体領域を有する光導波路において、前記第一の誘電体領域の表面に凹凸を周期的に設けたことを特徴とする光導波路。

【請求項3】 結晶質シリコン基板内の一主面側に形成された第一の誘電体領域と、この第一の誘電体領域の外側に形成された第二の誘電体領域を有する光導波路において、前記第一の誘電体領域の幅を周期的に変化させたことを特徴とする光導波路。

【請求項4】 結晶質シリコン基板の一主面上にマスク層を形成し、該マスク層の一部を除去する工程、該マスク層が除去された部分を起点として前記結晶質シリコン基板内に第一の多孔質シリコン領域を形成する工程、この第一の多孔質シリコン領域の外側に第一の多孔質シリコンの細孔よりも相対的に小さい細孔を有する第二の多孔質シリコン領域を形成する工程、前記第一および／または第二の多孔質シリコン領域に不純物元素を導入する第一の工程、前記多孔質シリコン領域の一部に強度が周期的に変化する電磁波を照射する工程、前記多孔質シリコン領域に不純物元素を導入する第二の工程、前記第一および第二の多孔質シリコン領域を酸化する工程を有することを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項5】 結晶質シリコン基板の一主面上にマスク層を形成し、該マスク層の一部を除去する工程、該マスク層が除去された部分を起点として前記結晶質シリコン基板内に第一の多孔質シリコン領域を形成する工程、この第一の多孔質シリコン領域の外側に第一の多孔質シリコンの細孔よりも相対的に小さい細孔を有する第二の多孔質シリコン領域を形成する工程、前記第一および／または第二の多孔質シリコン領域に不純物元素を導入する工程、前記第一および第二の多孔質シリコン領域を酸化する工程、前記第一の多孔質シリコンが酸化された領域の表面に凹凸を周期的に形成する工程を有することを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項6】 結晶質シリコン基板の一主面上にマスク層を形成し、該マスク層の一部を幅が周期的に変化した部分を有する帯状に除去する工程、該マスク層が除去された部分を起点として前記結晶質シリコン基板内に第一の多孔質シリコン領域を形成する工程、この第一の多孔質シリコン領域の外側に第一の多孔質シリコンの細孔よりも相対的に小さい細孔を有する第二の多孔質シリコン

領域を形成する工程、前記第一および／または第二の多孔質シリコン領域に不純物元素を導入する工程、前記第一および第二の多孔質シリコン領域を酸化する工程を有することを特徴とする光導波路の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光導波路とその製造方法に関し、さらに詳しくはその一部にグレーティングを設けた光導波路とその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】 光を閉じ込めて伝搬する光伝送媒体に、屈折率を周期的に変化させた領域を設けたグレーティングは、光ファイバーや光導波路との整合性が良く、低損失・小型であるなどの特長を持つ。そのため、レーザーの共振器用光反射素子、半導体と組み合わせたハイブリッドレーザーの外部共振器用光反射素子、波長多重用光信号の分波や合波、光ファイバー中を伝搬する光の波長分散の等化補償、パルス圧縮、光アンプ利得の波長特性の等化、歪みや温度を計測する各種センサー、更には光分岐線路の監視等に応用される。このグレーティングには、伝搬光の波長と同程度の寸法で屈折率を周期的に変化させた短周期型グレーティングや、伝搬光の波長よりも長い周期で屈折率を変化させた長周期型グレーティングがある。

【0003】 また、グレーティングの周期を変化させたチャプドグレーティングは阻止帯域の広い広帯域阻止フィルタに利用され、グレーティングの幅を変えたアポタイズグレーティングはサイドバンドの抑圧に利用されるなど、各種変形グレーティングを含めて極めて重要な光部品として鋭意開発されている。

【0004】 このため、これらのグレーティング素子を光ファイバーに作り込むだけでなく、最近ではこれらを光導波路に作り込んで小型化・集積化を図る試みが報告されるようになった。

【0005】 しかしながら、従来のグレーティングの形成技術は、母体のシリカ ( $\text{SiO}_2$ ) に屈折率増加用元素として酸化ゲルマニウム ( $\text{GeO}_2$ ) を含有させたものであり、コアに用いる光ファイバーまたは光導波路に限られていた。すなわち、前記元素で構成される導波路に波長 200～300 nm の紫外線パルスレーザーの強い光を照射することにより、誘起される屈折率を変化させてグレーティングを形成するものである。

【0006】 しかしながら、この紫外線照射によって誘起される屈折率変化の感度は小さく、照射には数十分を要するなど量産の観点から改善が求められる。そこで、紫外線照射による屈折率変化の割合を増感するために、光ファイバーを数百気圧の高圧水素雰囲気中に数週間程度保持して、水素をファイバー中に添加する方法、ゲルマニウム (Ge) と共にホウ素 (B) や錫 (Sn) を添加する方法等も提案され、屈折率変化の感度が増感され

つつある。

【0007】紫外線照射によって屈折率変化を誘起するにはゲルマニウム(Ge)元素が不可欠であり、紫外線照射によるゲルマニウム元素の原子状態の変化に起因して屈折率が変化するものと考えられている。上記のように、紫外線照射による屈折率変化は非熱平衡状態によって形成されたもので、光ファイバーや光導波路中で屈折率を増加させる不純物であるゲルマニウム原子の濃度そのものを変化させるものではない。

【0008】従来の紫外線を照射する方法には、以下の課題がある。第一に紫外線照射を行うパルスレーザに高い累積照射エネルギーと長い照射時間を要し、照射のコストが高いこと。第二に材料の準備および紫外線照射に長時間を要し、量産には不向きであること。第三にファイバーまたは導波路を形成する材料が限られること。第四に紫外線照射による屈折率変化は非熱平衡状態を凍結した一時的なものであり、熱的に緩和して紫外線照射前の状態に自然復帰する宿命を基本的に持つことである。従って、常温で使用中の特性変化を小さくし長期信頼性を確保するために、グレーティング作成後に加速エージングを行い、紫外線照射後の屈折率変化量を数10%も劣化させた状態の特性を初期特性として機器を設計して使用する必要性が指摘されている状況である。この熱的緩和に基づく自然劣化を避けるため、長周期グレーティングにおいては、純シリカコアとフッ素ドープクラッドの組合せによるプリフォームを用いて線引きしたファイバーの内部残留応力を局所加熱で解放することによる屈折率変化を用いる方法が提案されている。この内部残留応力を解放する方法も同様に、熱非平衡状態を利用するという課題を内包している。

【0009】本発明はこのような従来技術の課題に鑑み、これらを解決することを目的とし、新しい原理に基づく導波路グレーティング構成、およびその製法を提供するものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1に係る光導波路では、結晶質シリコン基板内の一主面側に形成された第一の誘電体領域と、この第一の誘電体領域の外側に形成された第二の誘電体領域を有する光導波路において、前記第一の誘電体領域に、屈折率を増加および／または減少させる不純物元素を光の伝搬方向において周期的に増減して含有する領域を設けた。

【0011】請求項2に係る光導波路では、結晶質シリコン基板内の一主面側に形成された第一の誘電体領域と、この第一の誘電体領域の外側に形成された第二の誘電体領域を有する光導波路において、前記第一の誘電体領域の表面に凹凸を周期的に設けた。

【0012】請求項3に係る光導波路では、結晶質シリコン基板内の一主面側に形成された第一の誘電体領域

と、この第一の誘電体領域の外側に形成された第二の誘電体領域を有する光導波路において、前記第一の誘電体領域の幅を周期的に変化させた。

【0013】請求項4に係る光導波路の製造方法では、前記結晶質シリコン基板の一主面上にマスク層を形成し、該マスク層の一部を除去する工程、該マスク層が除去された部分を起点として前記結晶質シリコン基板内に第一の多孔質シリコン領域を形成する工程、この第一の多孔質シリコン領域の外側に第一の多孔質シリコンの細孔よりも相対的に小さい細孔を有する第二の多孔質シリコン領域を形成する工程、前記第一および／または第二の多孔質シリコン領域に不純物元素を導入する第一の工程、前記多孔質シリコン領域の一部に強度が周期的に変化する電磁波を照射する工程、前記多孔質シリコン領域に不純物元素を導入する第二の工程、前記第一および第二の多孔質シリコン領域を酸化する工程を有する。

【0014】請求項5に係る光導波路の製造方法では、結晶質シリコン基板の一主面上にマスク層を形成し、該マスク層の一部を除去する工程、該マスク層が除去された部分を起点として前記結晶質シリコン基板内に第一の多孔質シリコン領域を形成する工程、この第一の多孔質シリコン領域の外側に第一の多孔質シリコンの細孔よりも相対的に小さい細孔を有する第二の多孔質シリコン領域を形成する工程、前記第一および／または第二の多孔質シリコン領域に不純物元素を導入する工程、前記第一および第二の多孔質シリコン領域を酸化する工程、前記第一の多孔質シリコンが酸化された領域の表面に凹凸を周期的に形成する工程を有する。

【0015】さらに、請求項6に係る光導波路の製造方法では、結晶質シリコン基板の一主面上にマスク層を形成し、該マスク層の一部を幅が周期的に変化した部分を有する帯状に除去する工程、該マスク層が除去された部分を起点として前記結晶質シリコン基板内に第一の多孔質シリコン領域を形成する工程、この第一の多孔質シリコン領域の外側に第一の多孔質シリコンの細孔よりも相対的に小さい細孔を有する第二の多孔質シリコン領域を形成する工程、前記第一および／または第二の多孔質シリコン領域に不純物元素を導入する工程、前記第一および第二の多孔質シリコン領域を酸化する工程を有する。

【0016】

【作用】請求項1～6に係る発明では、導波路中で屈折率を増加または減少させる機能を有する不純物元素の濃度自体、および／または不純物元素の分布領域を直接変調し、もって屈折率が変調された熱的に安定なグレーティング領域を導波路中の必要部位に作り込むものである。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、請求項1～6に係る発明の実施形態を添付図面を参照しながら詳細に説明する。請求項1～3に係る発明の光導波路は、中間材として多孔

質シリコンを使用する。多孔質シリコンの基本特性は多孔度 (P)、細孔径 (R)、細孔径の分布幅 ( $\Delta R$ ) により定まる。ここに多孔度 (P) とは、多孔質シリコンの全体積中の空孔部分の体積率で定義される。また、細孔の直径を細孔径 (R) と定義し、その分布幅を細孔径の分布幅 ( $\Delta R$ ) と定義する。

【0018】多孔質シリコンの多孔度 (P)、細孔径 (R)、細孔径の分布幅 ( $\Delta R$ ) は、使用するシリコン基板のドーピング特性、化成液の HF 濃度、および界面電流密度に依存する。高濃度に p 型ドーピングされたシリコン基板を用いた場合には、多孔度 (P)、細孔径 (R)、および細孔径の分布幅 ( $\Delta R$ ) は図 2 のように変化する。図 2 中の  $\blacksquare$  は細孔径分布の中心値を、 $\blacktriangle$  と  $\bullet$  は分布の半値幅を示す。角を丸くした長方形の内部に記されたコメントの上行は化成液の HF 濃度を示し、下段の電流値は多孔質シリコンと結晶質シリコンとの界面の電流密度を示す。

【0019】図 2 はシリコン基板の一面全体を一様に多孔質化する全面化成の条件下で、化成条件と多孔質シリコンの性質との関係を基礎的に研究した論文 "R. Heri no et al., J. Electrochem. Soc. Vol.134, 1994 (1987)" に記載された個々のデータをもとに、本発明者が独自に構成したものである。本図は多孔質シリコンの重要な 4 点を指示している。第一に、界面電流密度を増加すると多孔度 (P)、細孔径 (R) とともに増加する。第二

$$L = \pi r + w$$

と表される。図 1 から明らかなように多孔質シリコン 5

$$J = I / L = I / (\pi r + w)$$

となる。ここに I はマスク開口幅 w に集中して流れる単位長さ当たりの電流である。

【0022】今、単位長さ当たりの電流 I を一定にして化成が進行すると、多孔質シリコン 5 と結晶質シリコン 1 との界面電流密度 J は式 (2) に従って減少する。化成初期の化成深さ r がマスク開口幅 w に比べて小さい領

$$I = J * L$$

となるように、化成電流を多孔質シリコン 5 と結晶質シリコン 1 との界面の面積増大に比例して増加させ、化成電流を時間の関数として、 $I = f(t)$  となるように制御することが必要である。本発明では上記のように HF 濃度と化成電流密度を一定にして化成して多孔質シリコン領域 5 内で多孔度 (P)、細孔径 (R)、細孔径分布 ( $\Delta R$ ) を一定に保つように制御することが望ましい。

【0024】次ぎに、本発明の光導波路の基本的な製作工程を図 3 に示す。シリコン基板 1 の主面 2 上にマスク層 3 を形成し、このマスク層 3 に幅 W の帯状の開口部 4 をフォトエッチングにより形成する (図 3 (a))。

【0025】その後、この基板 1 を陽極として第一の化成条件で第一の多孔質シリコン領域 6 を形成する。続いて、第二の化成条件で第二の多孔質シリコン領域 7 を形成する (図 3 (b))。

に化成液の HF 濃度を増加させると多孔度 (P)、細孔径 (R) とともに減少する。第三に化成液の HF 濃度を増加させると細孔径の分布幅 ( $\Delta R$ ) は狭くなる。特に高濃度 HF 化成液を用いると細孔径の分布幅 ( $\Delta R$ ) は非常に狭くなり、細孔径 (R) が一様且つ均質となる。第四に化成液の HF 濃度と界面電流密度の化成条件を選定することにより、任意の多孔度 (P)、細孔径 (R)、および細孔径の分布幅 ( $\Delta R$ ) を持つ多孔質シリコンを形成できることを示している。

10 【0020】本発明の基礎となる光導波路の形成方法の基本的概念を図 1 を用いて説明する。シリコン基板 1 の一面 2 上に薄膜マスク層 3 を堆積し、所望の幅 w を有する帯状の開口 4 をフォトエッチングで形成する。その後、この基板 1 を陽極として弗酸溶液中で化成する。基板 1 が高濃度に p 型ドーピングされているならば、化成時に基板内部よりホールが等方的に供給され、マスクの端部を起点として半径 r の円形に化成が進行し、多孔質シリコン領域 5 が選択的に成長する。この時の多孔質シリコン領域 5 の内部の多孔度 (P)、細孔径 (R)、細孔径の分布幅 ( $\Delta R$ ) は図 2 に示すように化成条件に依存する。

【0021】図 1 のような選択化成においては、成長過程のある時点で見れば、多孔質シリコン 5 と結晶質シリコン 1 の界面の断面上の長さ L はほぼ

$$\dots (1)$$

と結晶質シリコン 1 との界面における界面電流密度 J は

$$\dots (2)$$

域では界面電流密度 J は大きい、化成深さ r がマスク開口幅 w に比べて大きくなった条件、すなわち、 $L \gg w$  では電流密度 J は化成初期に比べて桁違いに小さくなる。

【0023】他方、この界面での電流密度を一定にするには

$$\dots (3)$$

【0026】特に、第二の多孔質シリコン領域 7 に不純物をドーピングしない場合は酸化後の体積変動を最少にするために、この第二の多孔質シリコン領域 7 の多孔度を 55% に制御することが望ましい。また第一の多孔質シリコン領域 6 に数%の高濃度不純物をドーピングする場合には、酸化後の体積へのドーピングした不純物の寄与を考慮し、第一の多孔質シリコン領域 6 の多孔度を図 2 に示すように 55% より大きく保つことが望ましい。また、細孔径 (R) に関しては、第一の多孔質シリコン領域 6 の細孔径 ( $R_6$ ) を第二の多孔質シリコン領域 7 のそれ ( $R_7$ ) に比べて大きく制御しておくことが望ましい。更に、次の工程で導入する不純物分子のサイズ ( $R_{imp}$ ) との関連で、 $R_6 > R_{imp} > R_7$  と制御しておく、次工程で不純物の選択導入が可能となる。

50 【0027】上記のように複層の多孔質シリコンを作成

した基板を例えばチタンの有機化合物分子を含む溶液に浸漬して取り出した後、基板表面に付着した有機液を除去する。この工程により、第一の多孔質シリコン領域6の細孔内に不純物分子が導入され、第一の多孔質シリコン領域6は不純物が導入された領域8となる(図3(c))。第二の多孔質シリコン領域7の細孔径は不純物分子のサイズより小さいため、この第二の多孔質シリコン領域7の細孔には不純物が入り得ない。次に、この基板1を例えば湿った酸素雰囲気中1150℃で1時間程度酸化する。

【0028】その後、マスク層3をエッチングにより除去する(図3(d))。この酸化により、第一の多孔質シリコン領域8と第二の多孔質シリコン領域7がそれぞれ酸化されて緻密化し、不純物がドーブされた第一の多孔質シリコン領域8は不純物がドーブされて屈折率が増加したコア領域10となり、第二の多孔質シリコン領域7はドーブされないSiO<sub>2</sub>であることから、屈折率の小さいクラッド11となる。その後、必要に応じて上部クラッド層12を形成して光導波路が完成する(図3(e))。

【0029】以上の光導波路の作成工程の基本的な流れを図4に示す。すなわち、図4の工程(a)は薄膜マスクの形成とパターンニングの工程であり、工程(b)は多孔質シリコン領域の連続選択化成工程であり、工程(c)は不純物選択導入工程であり、工程(d)は酸化工程であり、工程(e)は上部クラッド形成工程である。

【0030】次に、グレーティングを光導波路に作り込む方法を図5に示す。図5の工程(a)、工程(b)および工程(c-1)までは、図4の工程(a)、工程(b)および工程(c)と同じである。すなわち、図5の工程(c-1)が終了したシリコン基板を例えば200℃程度以下の温度による熱処理で不純物を溶解していた溶剤を除去する(不図示)。この状態で重要なことは有機金属分子は有機物のまま第一の多孔質シリコン領域8の細孔内に残存していることである。

【0031】次いで、上記基板1の多孔質シリコン領域8に残存する金属有機物を電磁波であるパルス光の干渉により、光強度の強い部分で選択的且つ周期的に分解する(工程(c-2))。この光は必ずしも紫外光である必要はない。赤外域から紫外域までの光を利用できる。有機金属化合物分子に直接吸収され、この化合物分子の有機成分を光分解するか、パルス光が多孔質シリコンに吸収されたことによる瞬間的な熱分布によって有機成分を分解しても良い。

【0032】この光照射の状況を図6(a)、図6(b)に示す。図6(a)は光導波路が形成される断面を示し、同図(b)のZ1-Z2線断面である。位相格子15を透してパルス光16を基板1の表面に照射する。有機金属化合物分子が導入された多孔質シリコン領

域8に於いて、位相干渉により照射光の強まった領域20では有機成分は優先的に分解される。一方、照射光の弱まった領域21では有機成分は分解されずに残存する。以上の光照射の工程が図5の工程(c-2)までである。

【0033】続いて、上記処理を行った基板を再度有機金属化合物を含む溶液に浸漬する(図5の工程(c-3))。前記工程(c-2)に於いて、有機成分が分解して金属成分のみが細孔内に残った領域20では、再度有機金属化合物分子が細孔内に導入される余地がある。一方、前記工程(c-2)で有機成分が分解せずそのまま残存する領域21では細孔空間は有機金属化合物により占有されており、新たに有機金属化合物が導入される余地は領域20より相対的に小さい。したがって、図5の工程(c-3)で有機金属化合物分子の導入される確率に差が出てくる。すなわち、相対的に金属不純物の成分が多い部分と少ない部分が形成される。この後、例えば600℃の熱処理により多孔質シリコンの全領域から有機成分を熱分解する。

【0034】その後、900℃程度の酸素雰囲気中で多孔質シリコンの全領域を一旦酸化してシリカに変換する。次いで、1100℃程度以上の酸化雰囲気のもとでシリカを溶融・緻密化する。その後、必要に応じて上部クラッド層を形成すればよい。

【0035】上記光照射工程において、光強度の周期的な分布を保持するためには多孔質シリコン中で光が散乱せずにその位相を保持することが必要である。前述したように本発明で用いる多孔質シリコンは細孔径のサイズが数nmであり、その分布幅が非常に小さく制御されている。この場合の照射される光の波長は多孔質シリコンの細孔径のサイズ(数nm)に比べて充分に大きく、光散乱の影響は小さい。事実、多孔質シリコン自体を用いた光導波路中を光は数cm以上の距離を効率よく伝搬している。

【0036】前記第二の不純物導入工程(c-3)により多孔質シリコンの領域8には、不純物金属濃度に周期的な分布が形成される。この第1・第2の不純物導入工程で利用される金属元素を含有する有機金属化合物としては、例えば、アルミニウム(Al)、ホウ素(B)、バリウム(Ba)、ビスマス(Bi)、カルシウム(Ca)、カドミウム(Cd)、セリウム(Ce)、セシウム(Cs)、ジスプロジウム(Dy)、エルビウム(Er)、ユウロビウム(Eu)、ガドリニウム(Gd)、ゲルマニウム(Ge)、ハフニウム(Hf)、ホロミウム(Ho)、インジウム(In)、ランタン(La)、ルテチウム(Lu)、マグネシウム(Mg)、ニオブ(Nb)、ネオジウム(Nd)、隣(P)、プロメチウム(Pm)、プラセオジウム(Pr)、ルビジウム(Rb)、アンチモン(Sb)、サマリウム(Sm)、錫(Sn)、ストロンチウム(Sr)、タンタル(T

a)、テルビウム(Tb)、チタン(Ti)、タリウム(Tl)、ツリウム(Tm)、イットリウム(Y)、イッテルビウム(Yb)、タングステン(W)、亜鉛(Zn)、ジルコニウム(Zr)の群の元素を含む有機金属化合物がある。これらのうち、例えばホウ素(B)は酸化シリコン中では屈折率を小さくする効果を有する。また、ジルコニウム(Zr)やチタン(Ti)は屈折率を増加させる。更に、例えばエルビウム(Er)等の希土類元素は酸化シリコン中で光学的に活性な不純物で光増幅等の効果を有する。光導波路に用いる場合、屈折率を減少させるための元素は図3の第一の多孔質シリコン領域6および第二の多孔質シリコン領域7の双方にドーピングしても良い。一方、屈折率を増加させるための元素は第一の多孔質シリコン領域6のみに選択的にドーピングすることが望ましい。更に、光学的に活性な元素を第一の多孔質シリコン領域6内の第一の部分領域のみに選択的にドーピングする必要がある場合がある。このような場合は、図7のように、予め第一の多孔質シリコン6の領域に細孔径の異なる部分領域61、62を形成し、領域61の細孔径を領域62のそれより大きく設定しておく。これら細孔径とドーピングする有機金属化合物分子の相対的大きさを選定することにより、特定の機能を有する不純物元素例えば希土類元素であるエルビウム(Er)等を部分領域61のみに選択的にドーピングすることができる。

【0037】図5の工程(c-3)でドーピングする不純物元素の重要な性質として、多孔質シリコンを酸化後、溶融・緻密化を行う際の熱処理中の拡散距離がグレーティングの周期に比べて小さいことが要求される。多孔質シリコンの酸化自体は900℃程度で完了し、二酸化シリコン(シリカ)となる。その後、このシリカを溶融・緻密化し、更に導入した不純物がシリカに良く混合するためには例えば1100℃で、1時間程度の熱処理が必要となる。この熱処理においても不純物元素の周期的な濃度分布が保持されること、即ち、上記高温の溶融・緻密化熱処理時における不純物元素のシリカ中での拡散距離がグレーティング周期に比べて小さいことが必要となる。幸い、シリカ中のホウ素(B)は1200℃、1時間当たりの拡散距離が0.01μm程度であり、グレーティング周期に比べ十分に小さい。このように高温熱処理においてシリカ中での拡散距離が小さい元素も各種存在する。前記した群のうちからこれら拡散距離の小さいものを選択すればよい。

【0038】熱処理時の不純物の拡散距離がグレーティング周期より小さい不純物を選択すれば、図6(c)に示すように導波路の位置により不純物濃度22が周期的に変化する。この不純物濃度に依存して屈折率23が図6(d)に示すように周期的に変化し、導波路の所望の位置にグレーティングを作成することができる。

【0039】前記した図5(b)の工程(c-1)でドーピングする屈折率増加用に用いる不純物には拡散長と周期

距離との相対関係は特に重要ではない。拡散距離が周期距離に比べて小さいことが求められるのは工程(c-3)の不純物導入工程(2)で導入する不純物である。図5では不純物導入工程(2)で用いる不純物として屈折率を増加させるタイプの例を示したが、逆に屈折率を減少させるタイプの不純物を導入しても屈折率に周期構造を作り込むことができるのは勿論である。

【0040】図5の(c-1)不純物選択導入(1)において、複数種の元素を同時に一括して選択ドーピングすることも可能である。即ち、屈折率減少効果を有する元素の有機金属化合物分子の大きさを最も小さくし、次ぎに屈折率増加用化合物分子を大きくし、更に光学的に活性な希土類等の元素の化合物分子を最も大きくすれば、多孔質シリコン領域毎の細孔径に応じた選択ドーピングが可能となる。例えば、図7の第二の多孔質シリコン領域7には屈折率減少用の不純物のみをドーピングし、部分領域62には屈折率増加用と屈折率減少用の不純物をドーピングし、部分領域61には屈折率増加用と同減少用の不純物に加え光学的に活性な希土類元素を一括ドーピングすることができる。ここでドーピングに用いる前記各種の有機金属化合物分子の大きさを変更することは、有機金属化合物の分子設計の課題として従来技術を用いて可能である。従って、細孔径と分子の大きさとの組合せで各種機能を有する元素の選択ドーピングが可能となる。

【0041】また、図5の(c-3)不純物選択導入(2)の工程で屈折率減少効果を有する不純物を図6の領域8内の干渉光の強い領域20のみに選択導入する場合、当該元素の有機金属化合物分子の大きさを、領域20には導入可能であるが、領域21や領域7には導入不可となるように、分子の大きさと導入時の実効細孔径を制御すればよい。

【0042】次に、請求項5に係る光導波路の製造方法の実施形態を図8により説明する。図8の工程(a)、工程(b)、工程(c)および工程(d)までは、図4と同じである。すなわち、多孔質シリコンの酸化、溶融・緻密化の後、マスク層3を除去した基板の表面に従来法によりレジスト25を塗布する(図8(m-1))。その後、図9(a)に示すように位相格子15を透して光16でレジスト25を露光する。露光パターンを現像後(図8(m-2))、導波路表面を例えば通常の手段でエッチングする(図8(m-3))。この工程により導波路表面には、図9(c)に示すように凹凸26が周期的に形成される。この表面の凹凸26は、実効的に導波路の屈折率を変調する。結果として、図9(d)に示すように、導波路の位置に依存して実効屈折率27が周期的に変化したグレーティング導波路を作成することができる。

【0043】この方法では、図9(b)に示すように、コア10、下部クラッド11の表面は最初のシリコン基板1の表面2と同一面にある。従って、実質上凹凸のな



い平面にレジストを塗布できることから、薄いレジストを均一な膜厚で処理できるため、微細な加工を精度良く行うことができる。

【0044】上記した請求項1、2および4、5に係わる発明の実施形態は屈折率変化の周期が導波路中を伝搬する光の波長と同程度の短周期グレーティング、および屈折率変化の周期が波長に比べて十分に長い長周期型グレーティングの双方に適用可能である。

【0045】次に、請求項3および6に係る光導波路とその製造方法を図10に基づいて説明する。図4の基本工程におけるマスク層3のパターニング時に、図10

(a)に示すように帯状の幅Wの開口4に、周期的なΔWの凹凸41を作り込む。このようにマスクパターンが形成された基板を、図4に従って工程を進めることにより長周期のグレーティングを導波路中に集積化できる。

【0046】上記ΔWの効果により、例えば図3の第一の多孔質シリコン領域6と第二の多孔質シリコン領域7の幅が変調される。その結果としてコア10、下部クラッド11の幅が変調される。言い換えれば、図10

(b)に示すように高濃度ドーピング領域の幅42が変調される。従って、図10(c)のように実効屈折率分布43に所望の周期構造を作り込むことができる。

【0047】以上説明したグレーティングの周期構造は不純物の濃度分布自体、または不純物分布の領域を微細に変化させて作成されている。この構造は基本的に、非熱平衡状態を利用したものではなく、熱平衡状態の物性を利用したものであるため常温付近では特性が安定である。従って、本発明の導波路グレーティングと例えばマイクロヒータによるグレーティング部の局所加熱による遮断波長の温度依存性を利用したチューナブル導波路グレーティングフィルタを構成しても長期間の信頼性・特性安定性に課題はない。

【0048】上記説明では単純な周期構造を例に述べた。しかし、周期構造の周期を連続的に変化させたチャープ構造、周期構造に重み付を行ったアポタイズ構造、周期構造の位相を変えた位相シフトグレーティング等、使用目的に応じて種々の変形ができる。

【0049】

【発明の効果】以上のように、請求項1ないし3に係る光導波路では、第一の誘電体領域に、屈折率を増加及び／または減少させる不純物元素の濃度が光の伝搬方向において周期的に増減する領域を設けたり、凹凸を周期的に設けたり、幅を周期的に変化させたことから、熱平衡

状態の物性を用いるため常温付近でも熱的に安定なグレーティングを備えた光導波路となる。また、用いる材料も特定の元素に制限されず、多様に各種の元素を利用でき、導波路グレーティングを用いたデバイス設計の自由度が高まる。

【0050】また、本発明請求項4ないし6に係る光導波路の製造方法では、製作工程が簡単且つ単純で、製作に要する工程時間も短時間で製造できる。また、微細周期構造作成のために強い紫外線レーザー光を長時間照射する必要がなく、微細構造の作り込みが容易である。以上により、光モジュール基板上に導波路と共に容易に安定なグレーティングを集積化できるため、機器の更なる小型化・集積化を可能とする。

【図面の簡単な説明】

【図1】多孔質シリコンの選択化成を説明する図である。

【図2】多孔質シリコンの特性と製作条件の関係を示す図である。

【図3】光導波路作成工程を示す図である。

【図4】光導波路の製造工程を比較して示す図である。

【図5】請求項2に係る光導波路の製造方法の工程を示す図である。

【図6】請求項2に係る光導波路の製造方法を示す図である。

【図7】コア部を部分領域に分け機能性不純物の選択ドーピングを説明する図である。

【図8】請求項3に係る光導波路の製造方法の工程を示す図である。

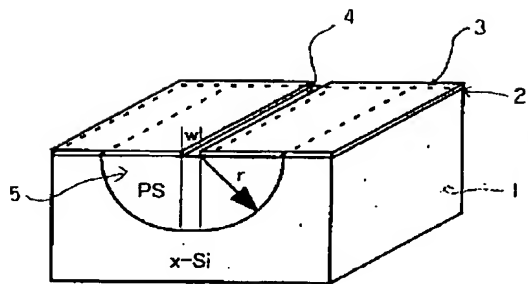
【図9】請求項3に係る光導波路の製造方法を示す図である。

【図10】請求項4に係る光導波路の製造方法を示す図である。

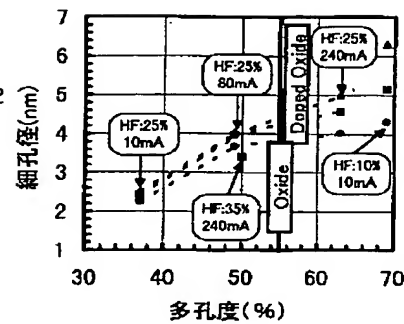
【符号の説明】

1：シリコン基板、2：シリコン基板の最初の表面、3：マスク層、4：マスク開口部、5、6、7：多孔質シリコン領域、8：ドーピングされた多孔質シリコン領域、10：コア領域、11：下部クラッド領域、12：上部クラッド、15：位相格子、16：照射光、20：干渉光の強い領域、21：干渉光の弱い領域、22：不純物濃度分布、23：屈折率分布、25：レジスト、26：導波路表面の凹凸、27、43：実効屈折率分布、41：開口部の変調幅、42：変調された高濃度ドーピング領域、61、62：コア部の部分領域

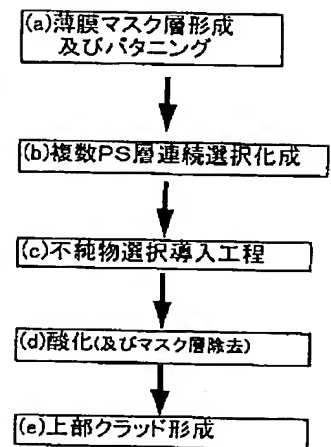
【図1】



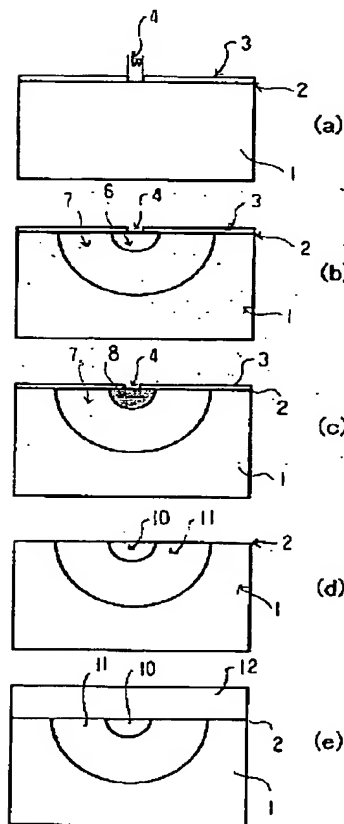
【図2】



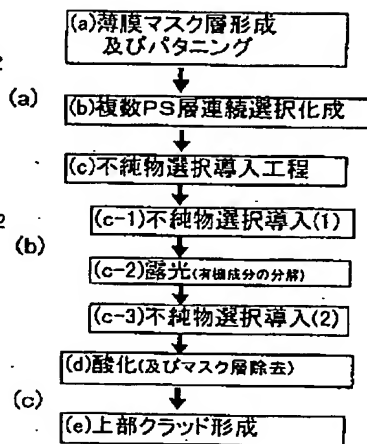
【図4】



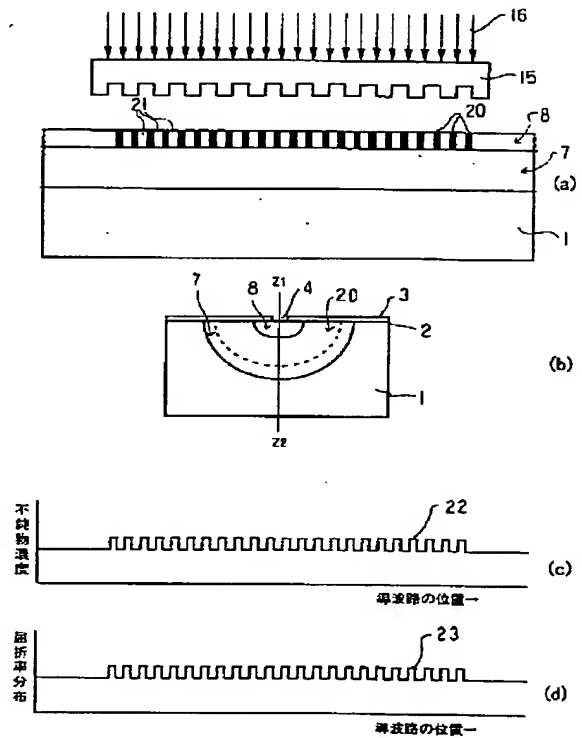
【図3】



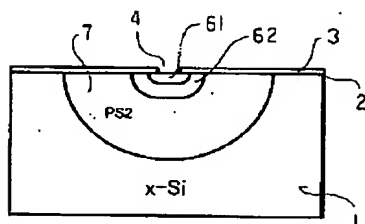
【図5】



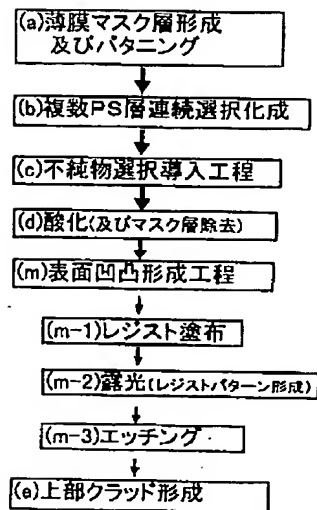
【図6】



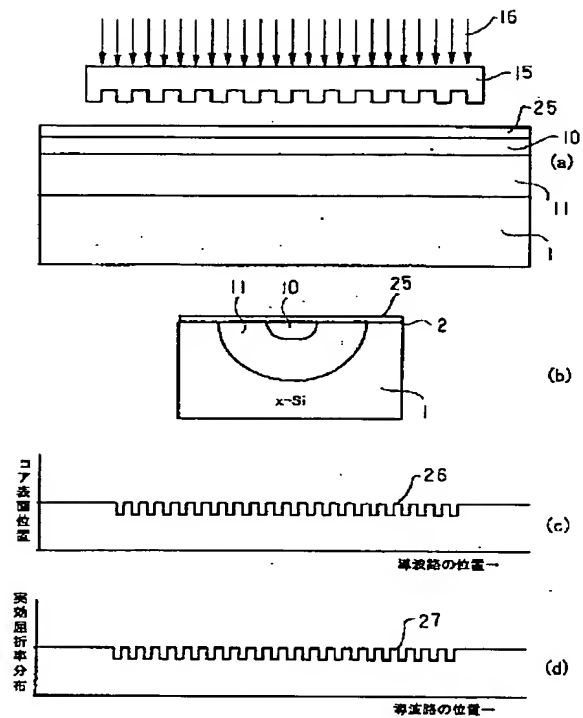
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

